

Profile und Schalenstrukturen aus verzweigten Blechen

Die Herstellung integral verzweigter Bleche aus Stahl stellte die Fertigungstechnologie bislang vor große Schwierigkeiten. Mit dem Umformverfahren Spaltprofilieren ergibt sich die Möglichkeit, Bleche ausgehend von den Bandkanten beidseitig zu verzweigen. Die so hergestellten Halbzeuge dienen in der Weiterverarbeitung zur Herstellung innovativer verzweigter Profile und Schalenstrukturen. Der folgende Beitrag beschreibt die interdisziplinäre Kooperation im Sonderforschungsbereich 666 „Integrale Blechbauweisen höherer Verzweigungsordnung“ zur Entwicklung, Fertigung, Bewertung und Anwendung neuartiger, verzweigter Bauteile.

► Profiles and shell-structures made of bifurcated sheet metal

Manufacturing bifurcated profiles in integral style has been sophisticated up to now. With the technology of linear flow splitting a new possibility is given to branch sheet metal from the bend edge. These new semi-finished parts can be used for the manufacturing of innovative profiles and shell structures. The following paper gives an overview of the interdisciplinary collaborative research center 666 "Integral sheet metal design with higher order bifurcations" in fields of development, manufacturing, characterization and application of new branched structures.

Peter Groche, Stefan Ulbrich, Wolfram Schmitt •

Zu Beginn des Jahres 2007 titelte die Darmstädter Lokalpresse: „Funktionsbau mit Haifischkiemen – Sonderforschungsbereich 666 bekommt neue Versuchshalle für integrale Blechbauweisen“. Mittlerweile ist das nach bionischem Vorbild gestaltete Gebäude für Besucher des TU-Standortes Lichtwiese keine Neuheit mehr. Dennoch wird im interdisziplinären Sonderforschungsbereich 666 nach wie vor die Thematik der „Integralen Blechbauweisen höherer Verzweigungsordnung“ auf den Gebieten der Produktentwicklung, Fertigung, Materialcharakterisierung und Anwendung stark vorangetrieben. Ein sehr gutes Zeugnis für die erarbeiteten Innovationen bekam der Projektverbund aus Maschinenbau, Materialwissenschaften, Mathematik und Bauingenieurwesen im Jahr 2009, als die beantragte zweite Förderperiode mit gesteigener Zahl an Teilprojekten seitens der Deutschen Forschungsgemeinschaft bis 2013 bewilligt wurde.

Eine Erhöhung des Verzweigungsgrades ist für Produkte aus Blech vor dem Hintergrund des Stabi-

Gesamtanlage zur Herstellung integral verzweigter Profile.





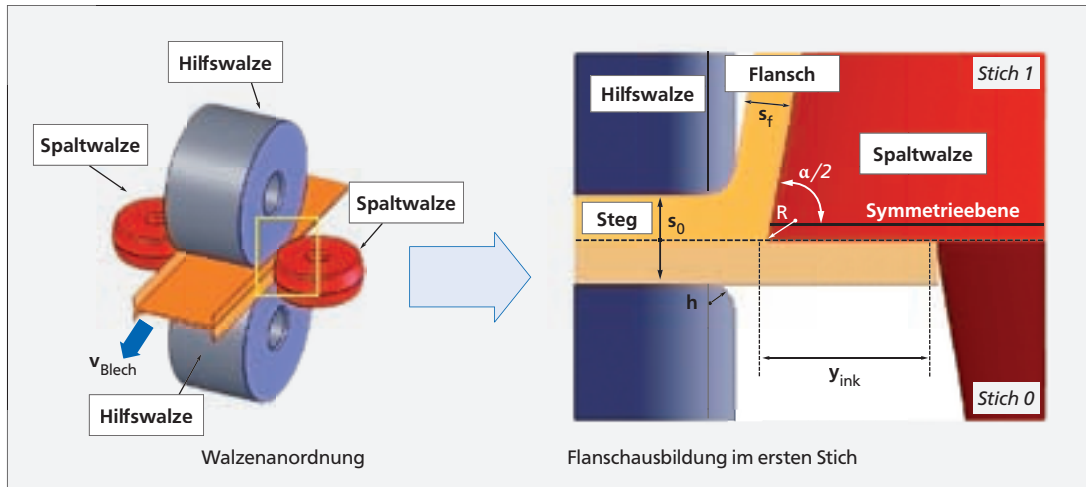


Abbildung 1
Verfahrensprinzip
Spaltprofilieren.

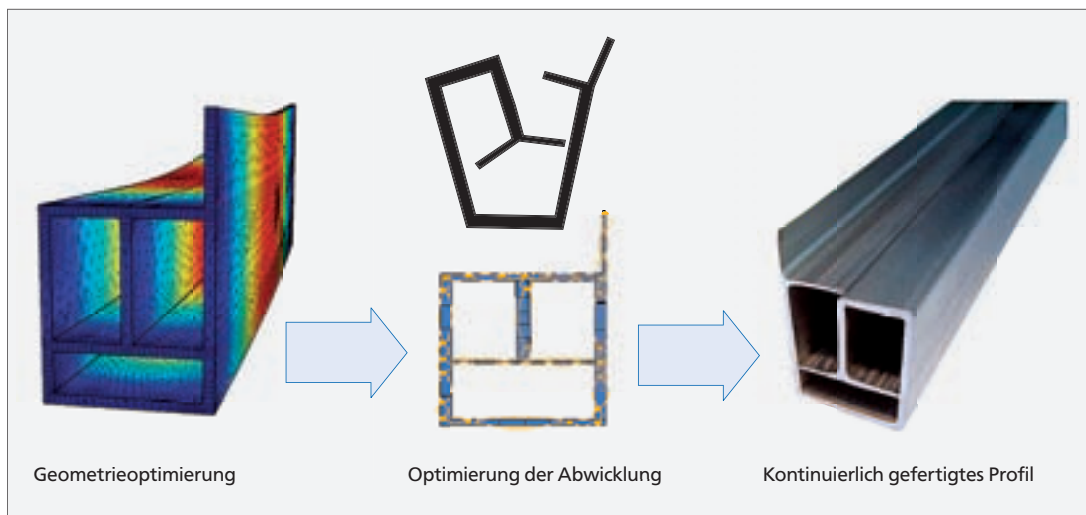


Abbildung 2
Optimierung eines
Dreikammerprofils.

litätszugewinns bei gleichbleibendem Gewicht und der mehrzweckoptimierten Nutzung mehrerer entstehender Kammern sehr wünschenswert. Allerdings steigt mit dem Verzweigungsgrad der Fertigungsaufwand für die gewünschten geome-

Sonderforschungsbereiche

Sonderforschungsbereiche (SFB) sind langfristige, in der Regel auf die Dauer von bis zu zwölf Jahren angelegte Forschungseinrichtungen der Hochschulen, in denen wissenschaftliche Zusammenarbeit im Rahmen fächerübergreifender Forschungsprogramme durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft gefördert wird. Jeder SFB besteht dabei aus einer unterschiedlichen Anzahl von Teilprojekten, die von einzelnen ggf. aber auch von mehreren Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern gemeinsam geleitet werden. Im SFB 666 arbeiten 11 Teilprojektleiter und 24 wissenschaftliche Mitarbeiter in 18 Teilprojekten. Das Projekt existiert seit 2005 und befindet sich aktuell in der 2. Förderperiode.

trischen Ausprägungen drastisch an. Bereits die Herstellung eines einfachen T-Profils aus dünnem Blech in integraler Bauweise ohne Materialdopplung stellt die heutige industrielle Produktionstechnik vor Schwierigkeiten. Allenfalls differentielle Bauweisen mit hinsichtlich funktionaler Anforderungen durch Fügeprozesse häufig nachteilig ausgebildeten Eigenschaften oder Materialdopplungen mit erheblichem Mehraufwand des einzusetzenden Materials erlauben heute die Realisierung von dünnwandigen, verzweigten Blechstrukturen. Das neuartige Umformverfahren Spaltprofilieren liefert hierzu einen vollständig neuen Ansatz.

Mittels eines Werkzeugsystems, bestehend aus je zwei stumpfwinkligen Spaltwalzen und unterstützenden Hilfswalzen, wird ein ebenes Blech bei Raumtemperatur in diskreten Stufen durch einen Umformprozess gespalten. Durch ein Auseinanderfließen des Werkstoffs wird die Oberfläche der Bandkante stark vergrößert und es bilden sich Verzweigungen aus (Abbildung 1)

[1]. Das derart umgeformte Spaltprofil stellt ein innovatives Halbzeug zur Herstellung neuartiger Profil- und Schalenbauweisen dar. Die wissenschaftlichen Tätigkeiten des Sonderforschungsbereichs 666 beleuchten integral verzweigte Blechstrukturen aus den Blickwinkeln der durchgängigen Prozesskette Entwicklung – Fertigung – Bewertung – Anwendung.

Neue Methoden der Produktentwicklung

Im Bereich der durchgängigen, algorithmisierten Produktentwicklung werden neuartige Methoden und Verfahren generiert, die es ermöglichen, Anforderungen an Mehrkammerprofile systematisch zu sammeln und für eine nachfolgende mathematische Optimierung nutzbar zu machen [2, 3]. Die optimale Geometrie wird dabei mit Hilfe von Methoden aus der diskreten und der nichtlinearen Optimierung ermittelt. Hierfür wurden neue Methoden wie etwa Branch-and-Bound Ansätze [4] oder Verfahren zur PDE-restringierten Optimierung [5, 6] entwickelt und angewendet. Als Zielfunktionen können hierbei abhängig vom jeweiligen Anwendungsfall beispielsweise minimale Profildurchbiegung, maximale Torsionssteifigkeit, maximaler Wärmeaustausch oder minimales Gewicht festgelegt werden (Abbildung 2). Durch die zusätzliche Berücksichtigung von Fertigungsrestriktionen wird gewährleistet, dass optimierte Profilquerschnitte mittels der im Bereich Fertigung entwickelten Anlage kontinuierlich hergestellt werden können [7].

Abbildung 3
Prozesskette zur Herstellung eines Dreikammerprofils.

Kontinuierliche Fertigung verzweigter Profile

Das Anlagenkonzept kombiniert umformtechnische, zerspanende und fügende Fertigungs-

Literatur

- [1] Groche, P.; Vucic, D.; Jöckel, M.: Basics of linear flow splitting, *Journal of Materials Processing Technology*, Volume 183, Issues 2–3, 23 March 2007, Pages 249–255, Ireland
- [2] Chahadi, Y.; Wäldele, M.; Birkhofer, H.: Algorithm-based transformation of customer requirements into product properties, *Proceeding International Conference on Research into Design, ICoRD '09*
- [3] Birkhofer, H.; Fügenschuh, A.; Günther, U.; Junglas, D.; Martin, A.; Sauer, T.; Ulbrich, S.; Wäldele, M.; Walter, S.: Topology- and shape-optimization of branched sheet metal products, *Operations Research Proceedings*, editor H. Haasis, H. Kopfer, J. Schönberger, Seite 327–336, 2006
- [4] Fügenschuh, A.; Fügenschuh, M.: Integer Linear Programming Models for Topology Optimization in Sheet Metal Design, *Mathematical Methods of Operations Research*, 68(2), Seite 313–331, 2008
- [5] Ulbrich, M.; Ulbrich, S.: Primal-Dual Interior-Point Methods for PDE-Constrained Optimization, *Math. Program.* 117, pp. 435–485, 2009
- [6] Hess, W.: *Geometry Optimization with PDE Constraints and Applications to the Design of Branched Sheet Metal Products*, Verlag Dr. Hut, 2010
- [7] Günther, U.: *Integral Sheet Metal Design by Discrete Optimization*, Verlag Dr. Hut, 2010
- [8] Groche, P.; Vucic, D.; Schmitt, W.; Ludwig, C.: Herstellung multifunktionaler Blechprofile, *wt Werkstattstechnik online Jahrgang 99 (2009) H. 10*; pp. 712–720, 2009
- [9] Vucic, D.: *Methoden zum Herstellen und Weiterarbeiten von Spaltprofilen*, Shaker-Verlag, Aachen, 2010
- [10] Müller, C.; Bohn, T.; Bruder, E.; Bruder, E.; Landersheim, V.; el Dsoki, C.; Groche, P.; Veleva, D.: „Severe plastic deformation by linear flow splitting“, *Materialwissenschaften und Werkstofftechnik*, 38, No. 10, 2007
- [11] Ertugrul, M.; Groche, P.: Hydroforming of Laser Welded Sheet Stringers. In: *Key Engineering Materials, Sheet Metal 2009*, Vols. 410–411. Trans Tech Publications, Switzerland, 2009, pp. 69–76

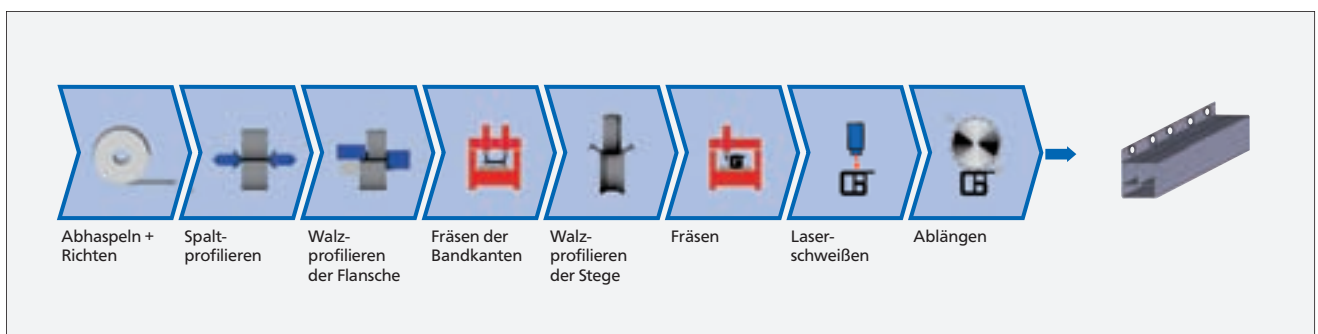


Abbildung 4
Mechanische
Eigenschaften
spaltprofilierter
Bauteile.

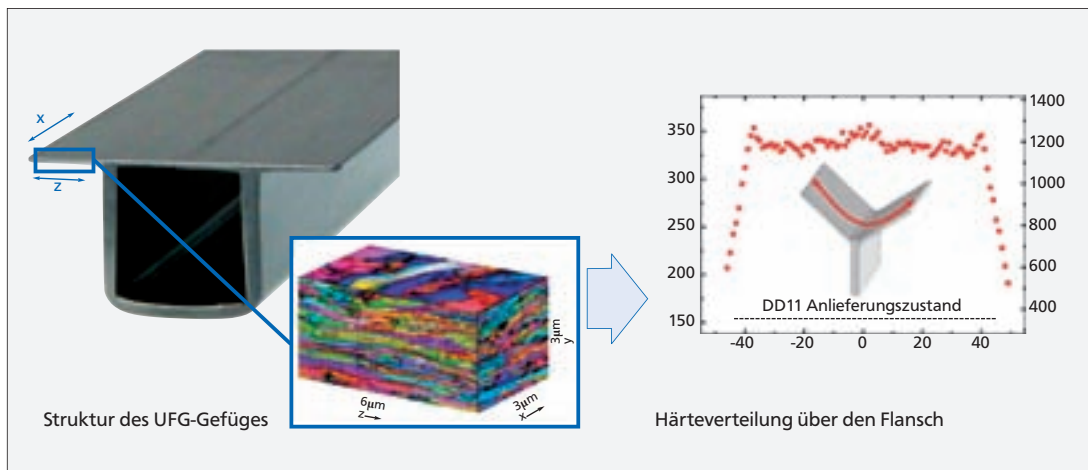
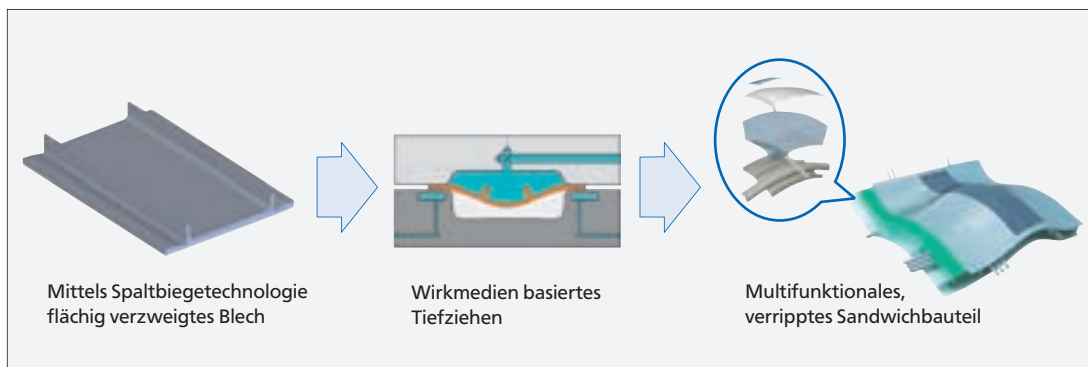


Abbildung 5
Tiefziehen
verzweigter Bleche
zu mehrfach
gekrümmten
Flächentragwerken.



fahren (Abbildung 3): Hierbei wird Blechband vom Coil abgehaspelt und der Spaltprofilereinheit zugeführt. Diese besteht aus 10 sequentiell angeordneten Walzgerüsten, innerhalb derer durch jeweils vertikal angeordnete Hilfswalzen und diametral zum Blech liegende Spaltwalzen ein hydrostatischer Druckspannungszustand in der Umformzone induziert wird. Aufgrund des ansteigenden Formänderungsvermögens wird der Bruchumformgrad des Blechwerkstoffes erhöht, sodass sich Verzweigungen ausbilden. Die Spaltwalzen werden bei abnehmender Hilfswalzenbreite in jeder Stufe sukzessive um die inkrementelle Stichtiefe in Blechmittenrichtung zugestellt, sodass sich die endgültige Flanschlänge in Abhängigkeit der Spaltprofilier-Stufenanzahl einstellt. Nach einer Zerspanung der Flanschenenden zur Einstellung der zum Laserschweißen notwendigen Bauteiltoleran-



Peter Groche leitet seit 1999 als Professor das Institut für Produktionstechnik und Umformmaschinen im Fachbereich Maschinenbau der TU Darmstadt. Er ist Sprecher des Sonderforschungsbereichs 666.



Stefan Ulbrich ist Professor für Nichtlineare Optimierung und leitet seit 2004 die gleichnamige Arbeitsgruppe im Fachbereich Mathematik der TU Darmstadt. Er ist stellvertretender Sprecher des Sonderforschungsbereichs 666.



Wolfram Schmitt ist seit 2008 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Produktionstechnik und Umformmaschinen. Er ist Geschäftsführer des Sonderforschungsbereichs 666.

zen erfolgt die walzprofilertechnische Einformung des spaltprofilierten Halbzeugs. Walzprofilieren ist ein kontinuierliches Biegeverfahren mit drehender Werkzeugbewegung, bei dem die Profilendgeometrie durch definiertes Biegen um einen definierten Biegewinkel in mehreren Stufen erreicht wird. Bedingt durch die erhöhte Steifigkeit der Bandkante verzweigter Halbzeuge ist der Profilierprozess nicht mit dem Walzprofilieren ebener Bleche zu vergleichen.

Zum einen ergeben sich ab bestimmten kritischen Biegewinkeln Hinterschneidungen, welche sich in einer geänderten Prozess- und Werkzeugauslegung niederschlagen. Andererseits verschieben sich durch die geänderte verzweigte Gestalt der ursprünglich ebenen Bandkante die Grenzen der Prozessauslegung, welche im Wesentlichen durch den Betrag der Bandkantendehnung bei gegebenen Biegewinkeln bestimmt werden [8, 9]. Mittels eines mitfahrenden Zerspanmoduls zur Hochgeschwindigkeits-Blechzerspannung ist es nachfolgend möglich, im kontinuierlichen Fertigungsbetrieb der Anlage diskontinuierliche Formelemente wie Löcher, Bohrungen und Nuten in die Profile einzubringen. Das Schließen der Profile erfolgt mittels Laserschweißen. Der rekonfigurierbare Aufbau der Anlage ermöglicht aufgrund der variablen Anordnung der Einzelprozesse eine hohe Produktvariabilität.

Transfer und Anwendung

Integral verzweigte Ein- und Mehrkammerprofile verfügen über hohes Innovationspotential, welches in den Bereichen Bewertung und Anwendung erarbeitet wird: Durch den Umformprozess wird auf den der Spaltwalze zugewandten Verzweigungsflächen ein ultrafeinkörniges Gefüge (UFG) ausgebildet, welches sich durch hohe Härte bei weiterhin duktilem Deformationsverhalten auszeichnet. Hierdurch stellt die Kaltverfestigung des Werkstoffs trotz ansteigender Härte keine Limitierung der erreichbaren Stichtiefe dar (Abbildung 4) [10].

Die Nutzung freiliegender Flansche zur Profilanbindung macht zusätzliche Fertigungsoperationen zur Herstellung von Verbindungselementen überflüssig und ermöglicht so die Verkürzung herkömmlicher Prozessketten, wodurch sich erhebliche Einsparpotentiale ergeben.

Weiterhin ist es möglich, geschlossene Profilkammern einzubringen und somit Bauraum von Tragprofilen funktional zu nutzen.

Im Rahmen dreier Transferprojekte aus den Bereichen Fertigung und Bewertung werden die gewonnenen Erkenntnisse in die industrielle Praxis überführt. Wissenschaftliche Ergebnisse werden hierbei an industriellen Anforderungen reflektiert, um weitere wissenschaftliche Tätigkeiten mit dem Ziel einer industriellen Anwendung der integralen Blechbauweisen ableiten und fokussieren zu können.

Als ein weiterer wissenschaftlicher Schwerpunkt steht seit Beginn der zweiten Förderperiode die Herstellung flächiger Strukturen aus verzweigten Blechen im Fokus des SFB. Das Tiefziehen kontinuierlich spaltgebogener Bleche (mit Verzweigungen in der Fläche) mit Hilfe von Wirkmedien eröffnet die Möglichkeit, mehrfach gekrümmte Flächentragwerke mit parallel verlaufenden Stützrippen zu fertigen [11].

Durch die Prozesskette bestehend aus Spaltbiegetechnologie mit nachgelagertem wirkmedienbasierten Tiefziehen lässt sich das herstellbare Spektrum von leichtbauoptimierten Flächentragwerken deutlich erweitern (Abbildung 5). Die Vorteile der Tiefziehverfahren lassen sich auf Leichtbaustrukturen übertragen und ermöglichen somit neben einer technologischen Verbesserung von Tragwerks- und Crashelementen auch die wirtschaftliche Fertigung solcher Bauteile.

Detaillierte Übersichten, genaue Inhalte der Teilprojekte und aktuelle Informationen über den SFB 666 sind zugänglich über die Website: www.sfb666.de

Institut für Produktionstechnik und Umformmaschinen (PtU)

Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirtsch.-Ing. Peter Groche
Tel. 06151/16-3056
E-Mail: groche@ptu.tu-darmstadt.de

Institut für Produktionstechnik und Umformmaschinen (PtU)

Dipl.-Ing. Wolfram Schmitt
Tel. 06151/16-6473
E-Mail: schmitt@ptu.tu-darmstadt.de
www.ptu.tu-darmstadt.de

Nichtlineare Optimierung

Prof. Dr. Stefan Ulbrich
Tel. 06151/16-2487
E-Mail: ulbrich@mathematik.tu-darmstadt.de
www.mathematik.tu-darmstadt.de